

■ 景国勋 曾昭友 李辉 欧阳文峰 著

# 煤矿掘进工作面 人—环安全关系分析

MEIKUANG JUEJIN GONGZUOMIAN

REN -HUAN ANQUAN GUANXI FENXI



煤炭工业出版社

# 煤矿掘进工作面人-环安全关系分析

景国勋 曾昭友 李 辉 欧阳文峰 著

煤 炭 工 业 出 版 社

· 北 京 ·

### 图书在版编目 (CIP) 数据

煤矿掘进工作面人-环安全关系分析/景国勋等著. --北京:  
煤炭工业出版社, 2012

ISBN 978-7-5020-4062-8

I. ①煤… II. ①景… III. ①煤矿开采-巷道掘进-安全技术-研究 IV. ①TD263.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 105842 号

煤炭工业出版社 出版  
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)  
网址: [www.cciph.com.cn](http://www.cciph.com.cn)  
北京房山宏伟印刷厂 印刷  
新华书店北京发行所 发行

\*

开本 850mm × 1168mm<sup>1/32</sup> 印张 7  
字数 175 千字 印数 1—1 000  
2012 年 7 月第 1 版 2012 年 7 月第 1 次印刷  
社内编号 6885 定价 21.00 元

---

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换

## 内 容 提 要

本书通过理论分析、数学建模、实验室分析等手段，建立了掘进工作面各环境因素对人可靠性影响的模型，并运用 VB 语言开发设计了煤矿复杂条件下掘进工作面人可靠性的分析评价系统，对井下掘进工作面人的可靠性实现了由定性分析到定量计算；通过现场实测，得出了矿工体重、新陈代谢量及体温的变化规律，得出了血压、心率随工作负荷、工作时间及工人年龄的变化规律，同时确定了掘进工作面安全行为模式。

本书可作为煤炭高校安全人机工程学研究人员的参考书，也可作为现场工程技术人员的参考书。

## 前 言

随着经济的持续发展,国家对能源的需求持续增长,2011年全国原煤产量为 $35.2 \times 10^8$  t,约占能源总量的70%。煤炭生产过程中的安全问题始终是制约和影响煤炭生产的关键因素,虽然国家加大了对煤矿安全的投入力度,煤矿百万吨事故死亡率在持续下降,但工伤事故率总量没有下降,反而上升,因此如何进一步降低工伤事故率,是摆在安全科技工作者面前的重要任务。

在对发生的伤亡事故统计分析中发现,大部分事故是由人的原因造成的。造成事故的原因主要分为两个方面:一是人的心理原因,如思想马虎大意,重视程度不够,存在侥幸心理等;二是人的生理原因,由于作业工人所处的环境条件复杂,光照不足、粉尘浓度较大、湿度较大、噪声较大等因素对人生理特征影响较大,作业工人在此种环境下工作会出现心率加快、血压升高等现象,对作业人员作业行为的安全构成极大威胁。为此,研究掘进工作面作业环境的温度、湿度、照度、噪声、粉尘浓度等对作业人员生理、心理、操作可靠性的影响进行分析研究就显得尤为重要。不仅要定性分析作业环境对人的影响,而且还要实现定量计算,以便在生产实际中采取相应措施以减小人因失误,提高人的可靠性和安全性,从而减少煤矿生产事故的发生。

本书基于理论分析、数学建模、实验室分析和现场实测,取得如下成果:建立了各环境因素对人可靠性影响的模型,运用VB语言开发设计了煤矿复杂条件下掘进工作面人可靠性的分析评价系统,对井下工作面人的可靠性实现了由定性分析到定量计算,并将各环境因素对人可靠性的影响划分为“三个区域”,为

提高人的可靠性、减少人因差错率,提供了科学的理论支撑;基于对现场实测的矿工体重、新陈代谢量及体温的分析,得出了其变化规律;确立了血压、心率随工作负荷、工作时间及工人年龄变化规律;确定了掘进工作面安全行为模式。

该研究课题为国家自然科学基金项目(50874038),得到了国家自然科学基金委员会的大力支持,在此深表感谢。感谢河南理工大学李建中教授、袁东升教授、任卫红教授在课题研究过程中给予的意见和建议,感谢博士研究生彭信山、硕士研究生李创起完成的基础数据现场试验等工作。

由于作者水平有限,书中难免出现疏漏或错误之处,敬请各位专家学者不吝指正。

著 者

2012 年 5 月

## 目 次

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 1 安全人机工程学理论 .....         | 1  |
| 1.1 人-机-环境系统工程理论 .....    | 1  |
| 1.2 安全人机工程国内外研究现状 .....   | 9  |
| 1.3 安全人机工程在煤矿中的应用 .....   | 11 |
| 1.4 掘进工作面人-环关系的研究意义 ..... | 12 |
| 2 人的行为特性及行为模式研究 .....     | 23 |
| 2.1 人的心理及行为特性 .....       | 23 |
| 2.2 掘进工作面事故致因分析 .....     | 28 |
| 2.3 人的不安全行为研究 .....       | 56 |
| 2.4 人的行为模式研究 .....        | 65 |
| 3 掘进工作面作业环境分析 .....       | 75 |
| 3.1 照明环境的影响分析 .....       | 75 |
| 3.2 热环境的影响分析 .....        | 78 |
| 3.3 噪声环境的影响分析 .....       | 80 |
| 3.4 色彩环境的影响分析 .....       | 84 |
| 3.5 振动环境的影响分析 .....       | 87 |
| 4 掘进工作面作业环境参数实测与分析 .....  | 88 |
| 4.1 矿井交通位置 .....          | 88 |
| 4.2 井田地貌与构造特征 .....       | 88 |
| 4.3 矿井开拓方式 .....          | 90 |

---

|     |                                       |     |
|-----|---------------------------------------|-----|
| 4.4 | 掘进工作面概况 .....                         | 90  |
| 4.5 | 工作面环境参数测定数据 .....                     | 95  |
| 4.6 | 照明环境对矿工作业的影响 .....                    | 97  |
| 5   | 掘进工作面复杂环境下人的可靠性分析 .....               | 113 |
| 5.1 | 人的可靠性的定义及研究意义 .....                   | 113 |
| 5.2 | 人因失误与环境因素的灰色关联分析 .....                | 114 |
| 5.3 | 环境因素对人的可靠性影响的模型建立 .....               | 122 |
| 5.4 | 人的可靠性分析评价系统开发与应用 .....                | 127 |
| 5.5 | 量化作业工人作业环境的安全区域、潜在<br>危险区域、危险区域 ..... | 132 |
| 6   | 掘进工作面矿工热舒适性及生理特征研究 .....              | 137 |
| 6.1 | 矿工热平衡方程 .....                         | 137 |
| 6.2 | 矿工血压及心率变化规律的研究 .....                  | 154 |
| 6.3 | 矿工心率变化规律的研究 .....                     | 204 |
| 7   | 主要研究成果及掘进工作面人-环安全对策 .....             | 207 |
| 7.1 | 主要研究成果 .....                          | 207 |
| 7.2 | 掘进工作面人-环安全对策 .....                    | 208 |
|     | 参考文献 .....                            | 212 |

# 1 安全人机工程学理论

## 1.1 人-机-环境系统工程理论

人-机-环境系统工程是一门交叉学科,主要运用系统理论和系统工程方法处理人、机、环境的关系,深入研究人-机-环境系统最优组合的一门科学,其研究对象为人-机-环境系统。系统中的人是指作为工作主体的人,包括操作人员和决策人员等;机是指人所控制的一切对象,包括工具、机器、计算机、系统和技术等;环境是指人、机共处的特定工作条件,如温度、噪声、振动等。安全、高效、经济是系统最优组合的基本目标。安全是指不出现人体的生理危害或伤害,并避免各种事故的发生;高效是指全系统具有最好的工作性能或最高的工作效率;经济是指在满足系统技术要求的前提下,系统的建立投资最少。

### 1.1.1 人-机-环境系统工程的产生背景

人类社会发展的历史,就是一部人、机(包括工具、机器、计算机、系统和技术)、环境3大要素相互关联、相互制约、相互促进的历史。

时至今日,当人们沉浸在享受高科技带来的社会繁荣之际,却也不自觉地闯入了两大误区:在机的设计时,由于漠视了人的特点和要求,致使工作系统效率降低,事故增加,对社会发展造成严重影响;在机的设计时,由于漠视了环境的特点和要求,不但影响了机器本身性能的发挥,而且带来了严重的环境恶化,对人类的生活、工作和生存构成了重大威胁。以汽车为例,它的出现一方面极大地推动了社会的进步,另一方面也给社会带来了灾难,全世界每年死于道路交通事故的人数约有25万人;同时

它也是造成城市污染的主要因素之一。其他的类似例子也很多。因此要探索一套研究人、机、环境3大要素的运行规律及其最优组合的科学方法。而人-机-环境系统工程正是针对这种现实而登上科学技术的历史舞台。

### 1.1.2 人-机-环境系统工程的显著特点

人-机-环境系统工程特别强调机（包括工具、机器、计算机、系统和技术）的设计要符合人的特点和要求。以往人们有一种误解，认为只要机设计出来了，通过选拔和训练操作人员就可以发挥系统性能。其实，如果机的设计不符合人的生理、心理特点，单纯通过选拔、训练来使人适应机的特性，不但不能确保系统性能的发挥，而且还会导致事故的发生。因此人-机-环境系统工程首先强调机的设计要符合人的特点，然后强调通过选拔和训练让人去适应机的特点，使人、机协调达到最优化。

人-机-环境系统工程与以往一些相邻学科（如人的因素、工效学、人-机系统……）的根本区别之一就是环境因素不再作为一种被动的干扰因素排斥在系统之外，而是作为一种积极的主动因素纳入系统之中，并成为系统的一个重要环节。很显然，环境既影响人的生存和工作能力，又影响机的性能和可靠运转；反之人和机也影响环境的状态。所以环境与人、环境与机、环境与系统之间既存在信息流通、信息加工问题，也存在信息控制问题，这就更加突出了环境在系统中的重要作用。实践证明，只有把环境作为系统的一个环节，才能从系统的总体高度对环境进行全面规划与控制（有的可以消除，有的可以防护，有的可减至允许限度，有的可获取最佳值），从而使全系统处于最优工作状态，这就从根本上杜绝了那种先出产品后治环境或在管理工作中头痛治头、脚疼医脚的被动局面，使人们的科学实践活动始终沿着科学的道路前进。

人-机-环境系统工程以唯物辩证法作指导，特别强调自上而下、由总而细的系统思考方法，遵循系统—还原—再系统—再还

原乃至不断循环上升的思维程序,把系统观与还原观有机结合,不断推动人-机-环境系统工程研究往纵深发展。恩格斯曾强调指出:“旧的研究方法和思维方法、黑格尔称之为‘形而上学’的方法,主要是把事物当做一成不变的东西去研究……必须先研究一个事物是什么,而后才研究过程。必须先知道一个事物是什么,而后才能觉察这个事物中所发生的变化。自然科学中的情形正是这样……而当这种研究已经进展到可以向前迈出决定性的一步,即可过渡到系统地研究这些事物在自然界本身中所发生的变化的时候,在哲学领域内也就响起了旧形而上学的丧钟。”人-机-环境系统工程正是抛弃以往那种只着眼于只要单个要素优良其整体性能就必然优良的形而上学观点,而是根据唯物辩证法思想,从系统的总体高度研究人、机、环境3大要素的相互关系和整体变化规律,从而推动科学技术向前发展。

### 1.1.3 人-机-环境系统工程的重要作用

科学技术的发展不仅包括从深度和广度上发展已经建立的各门学科,而且还有赖于新兴科学的出现。通常新兴科学的诞生和发展主要受专门性和普遍性的影响。

科学技术的专门性理论是由于发现了新的研究对象或出现了特别的科学趋势,促使人们去研究一类比较狭窄的对象,如细胞生物学、高分子化学等科学理论。这些学科的特点是用专门手段提出问题并解决问题,它只涉及比较狭窄的研究领域。科学技术的普遍性科学理论一般都是为研究非常广泛的一类对象中出现的自然现象而创立的,如控制论、系统科学等科学理论。与那些专门性科学理论相反,普遍性科学理论往往都是边缘科学。正因为如此,为了沟通各个专门性科学之间的渠道,这些普遍性边缘科学往往更趋向于理论化,而且更加依赖于描述它们所用的语言,所以普遍性边缘科学具有两个重要特征:一是纵向整体化,使基础科学与工程技术相互渗透,甚至融为一体;二是横向整体化,大力推行横跨学科的交叉研究。普遍性边缘科学的这两个特点不

仅打破了各个学科、各个部门之间的森严壁垒,而且也极大地促进了科学技术的蓬勃发展。

人-机-环境系统工程作为一门综合性边缘技术科学,其整体化特征表现最为突出。在纵向整体化方面,人-机-环境系统工程是一门技术科学,相对其基础科学(如生理学、心理学、系统科学等)而言,它注重于实际应用,强调实践性;相对其工程技术(如航天人-机-环境系统工程、航空人-机-环境系统工程、坦克人-机-环境系统工程、汽车人-机-环境系统工程、防空兵人-机-环境系统工程等)而言,又为实际应用提供了理论依据。所以人-机-环境系统工程使理论与应用相互交融、密不可分。在横向整体化方面,人-机-环境系统工程的研究范围从系统构思开始,历经系统建立、系统运行和系统维护直至系统消亡,如果没有多种学科知识和多种方法论作为指导,就无法取得最佳效果,故其学科交叉非常明显,因此目前国内外学者在论述该研究领域时总是众说纷纭、各执一词,诸如人的因素、人体工程学、工程心理学、工效学、人的因素工程、人-机系统、环境医学等。实际上它们都是从不同侧面、不同角度来探索人、机、环境3者之间的关系,因此用人-机-环境系统工程能把这些大致相近或相辅相成的学科纳入一个统一的科学框架,这不仅能避免概念和术语的混乱,而且能把人们的认识水平向前推进一大步。人-机-环境系统工程的重要作用主要表现在以下两个方面:

第一,它为人类社会的健康和可持续发展提供了科学的方法。如前所述,人类社会发展的历史,就是一部人、机(包括工具、机器、计算机、系统和技术)、环境3大要素相互关联、相互制约、相互促进的历史。人-机-环境系统工程的诞生,使人们在设计 and 研制任何一个人-机-环境系统时将产生3个方面的飞跃,即从经验走向科学、从不自觉走向自觉和从定性走向定量,其结果不仅可以避免经济上的巨大损失,而且可以加速人类社会发展的进程。

第二,人-机-环境系统工程为社会生产力的发展提供了技术手段。哲学上将生产力定义为:“从事物质资料生产的人同以生产工具为主的被用于生产的劳动资料相结合,就构成社会生产力。”很显然,生产力应该是人(从事物质资料生产的人)、机(生产工具和机器)、环境(生产场所的有关劳动条件)3大要素的有机结合,因此采用人-机-环境系统工程方法能全面优化人、机、环境三者之间的关系,推动社会生产力全面发展。

#### 1.1.4 人-机-环境系统工程的研究内容

人-机-环境系统工程的主要研究内容包括以下7个方面:

(1)人的特性的研究,包括人的工作能力研究;人的基本素质的测试与评价;人的体力负荷、脑力负荷和心理负荷研究;人的可靠性研究;人的数学模型(控制模型和决策模型)研究;人体测量技术研究;人员的选拔和训练研究等。

(2)机的特性的研究,包括被控对象动力学的建模技术;机的可操作性研究;机的可维护性研究;机的本质安全性(防错设计)研究等。

(3)环境特性的研究,包括环境检测技术的研究;环境控制技术的研究;环境建模技术的研究等。

(4)人-机关系的研究,包括静态人-机关系研究(作业域的布局与设计);动态人-机关系研究(人-机界面研究;显示和控制技术研究;人-机界面设计及评价技术研究;人-机功能分配研究;人-机功能比较研究;人-机功能分配方法研究;人工智能研究);多媒体技术在人-机关系研究中的应用;数字人体在人-机关系研究中的应用等。

(5)人-环关系的研究,包括环境对人影响的研究;人对环境影响的研究;个体防护措施的研究等。

(6)机-环关系的研究,包括环境对机器性能影响的研究;机器对环境影响的研究等。

(7)人-机-环境系统总体性能的研究,包括人-机-环境系

统总体数学模型的研究；人-机-环境系统模拟（数学模拟、半物理模拟和全物理模拟）技术的研究；人-机-环境系统总体性能（安全、高效、经济）的分析和评价研究；虚拟技术（Virtual Reality）在系统总体性能研究中的应用等。

### 1.1.5 人-机-环境系统工程的实施方法

人-机-环境系统工程的实施方法可以概括为4句话、30个字，即基于3个理论（控制论、模型论、优化论）、分析3个要素（人、机、环）、历经3个步骤（方案决策、研制生产、实际使用）、实现3个目标（安全、高效、经济）。

#### 1. 基于3个理论

人-机-环境系统工程是一门综合性边缘技术科学，为了形成其理论体系，它从一系列基础学科中吸取了丰富营养，并奠定了自身的基础理论。人-机-环境系统工程的基础理论可以概括为控制论、模型论和优化论。

##### 1) 控制论

控制论的根本贡献在于它用系统、信息、反馈等一般概念和术语打破了有生命与无生命的界限，使人们能用统一的观点和尺度来研究人、机、环境这3个物质属性本是截然不同、互不相关的对象，并使其成为一个密不可分的有机整体。

##### 2) 模型论

模型论能为人-机-环境系统工程研究提供一套完整的数学分析工具。很显然，人-机-环境系统工程不仅要求定性，而且要求定量地刻画全系统的运动规律。为此就必须针对不同的客观对象，引入适当的数学模型，并通过建模、参数辨识、模拟和检验等步骤，用数学语言来阐明真实世界的客观规律。

##### 3) 优化论

优化论的基本出发点是在人-机-环境系统的最优组合中，一般总有多种互不相同的方法和途径，而其中必有一种或几种是最好的或较好的。这样一种寻求最优途径的观点和思路，正是人-

机-环境系统工程的精髓。优化论正是体现这一精髓的数学手段。

## 2. 分析3个要素

对人、机、环这3个要素进行分析,主要是研究如何运用这3个要素来构成我们所需的、具有特定功能的人-机-环境系统。通常根据各种系统的性能特点及复杂程度,我们将人-机-环境系统分为简单、复杂、广义3种类型。

### 1) 简单(或单人、单机)

在简单人-机-环境系统中,一名操作人员只使用一台机器在特定环境中工作,现行的汽车、火车、飞机等都属于这类系统。

### 2) 复杂(或多人、多机)

在复杂人-机-环境系统中,一名操作人员可以操作两台以上的机器,或者一台或多台机器可以同时被几名操作人员使用,目前许多工业生产机器的操作都类似于此。

### 3) 广义(或大规模)

广义人-机-环境系统广泛存在于各生产部门。各生产部门的最高决策者通过一套指挥/控制系统对下属各基层单位的生产状况实施统一的管理和调度,这是一种典型的广义人-机-环境系统。

很显然,无论是简单人-机-环境系统、复杂人-机-环境系统,还是广义人-机-环境系统,都是一个复杂的巨系统。这是因为人体本身是一个巨系统,机器(或计算机)也是巨系统,再加上各种环境因素的作用和影响,因而形成人-机-环境这个复杂巨系统。实践证明,对任何一个系统来说,系统的总体性能不仅取决于各组成要素的单独性能,更重要的是取决于各要素的关联形式,也即信息的传递、加工和控制方式,因此要实现人、机、环境的最优组合难度相当大,而且人们对人、机、环境这3个要素的研究原先都是隶属于不同的学科领域,其研究方法和研究思想也大不相同,现在为了将它们组合成一个复杂巨系统,首先就必须有一个能够统一描述人、机、环境各自能力及相互关系的理

论,没有这样的一个理论做指导,就谈不上对整个系统做深入研究,也就更谈不上实现全系统的最优化组合设计,所以人-机-环境系统工程正是针对这种现实应运而生。

### 3. 历经 3 个步骤

为了将人-机-环境系统工程理论应用于各个领域,一般都应经历方案决策、研制生产和实际使用 3 个阶段。

#### 1) 方案决策阶段

方案决策属于理论分析范畴,也是最关键的步骤。在这个阶段,人-机-环境系统工程能为人-机-环境系统的总体方案设计提供一套完整的决策理论,其最主要的任务是建立人、机、环境的各自数学模型和系统的总体模型,并借助计算机进行全系统的数学模拟和优化计算,以确定人、机、环境的最优参数和系统的最优组合方案。

#### 2) 研制生产阶段

在研制生产阶段,人-机-环境系统工程的任务是确定实现最优方案的最佳途径。在这个阶段,始终强调把作为工作主体的人参与到系统中去,并通过半物理模拟或全物理模拟不断分析和检验人-机-环境系统的整体性能和局部性能,并协调各分系统的技术指标,使总体性能达到最佳状态。

#### 3) 实际使用阶段

在实际使用阶段,人-机-环境系统工程的任务是通过实际使用的验证,提出充分发挥现存系统性能的意见(如选拔操作人员标准,训练操作人员的方案和计划),全面做到物尽其用、人尽其才,并为进一步改善和提高系统性能提出新的建议。

### 4. 实现 3 个目标

一般而论,要同时满足安全、高效、经济这 3 个指标是有困难的,而且有时是矛盾的。因此,为了用系统工程方法来使我们所建造的人-机-环境系统实现安全、高效、经济这 3 个目标,首先必须假设几种设计方案,然后针对每种方案用全数学模拟、半

物理模拟或全物理模拟方法获得安全、高效、经济这3个效能指标的关系曲线。根据关系曲线就能预测人、机、环境的最优参数,基于这些参数就可确定最优方案。在进行系统方案可行性(或可实现性)研究之后,最后可对最优方案进行决策。据此选择的方案就是比较理想的方案。

总之,运用人-机-环境系统工程的实施方法能为人们在设计 and 建立任何人-机-环境系统时从定性走向定量、从不精确走向精确、从经验走向科学。这不仅可以实现人-机-环境系统的最优组合,而且可以避免工程技术的大量返工和经济上的巨大损失,并可加速人-机-环境系统的研制进程。

#### 1.1.6 人-机-环境系统工程的应用领域

人-机-环境系统工程认为,凡是有人参与的工作系统,都可以定义为一个人-机-环境系统。而且根据各种系统的性能特点及复杂程度,又可将人-机-环境系统分为简单(或单人、单机)人-机-环境系统、复杂(或多人、多机)人-机-环境系统和广义(或大规模)人-机-环境系统3种类型,因此人-机-环境系统工程虽然是一门新兴的边缘技术科学,但它的踪迹却已深入到国民经济的各条战线。

### 1.2 安全人机工程国内外研究现状

#### 1.2.1 国外研究发展概况

19世纪80年代,人们就开始了人机学的研究,但当时的研究范围比较狭窄,研究手段也比较落后。第二次世界大战期间,各种新式武器性能愈趋复杂,在人和武器的关系中,人的因素成了重要的制约因素。武器设计人员为使武器符合人的心理、生理特点,聘请生理学家、解剖学家、心理学家参与研究和设计,并吸收这方面的科技成果。1950年,英国成立了人机工程研究学会,使人机工程学真正成为了一门独立的学科。

19世纪60年代以后,科学技术得到了迅速发展,电子计算